

# 모바일 IP 환경에서의 실시간 멀티미디어 통신을 위한 무손실 원격지 가입 저 지연 핸드오프

(A Low Latency Handoff Scheme with Lossless Remote Subscription for Real-time Multimedia Communications in Mobile IP Environments)

김 호 철 <sup>†</sup>      김 영 탁 <sup>††</sup>  
(Ho-cheal Kim)    (Young-tak Kim)

**요 약** IP는 네트워크 주소를 기반으로 한 라우팅으로 인해 접속 네트워크가 동적으로 변경되는 이동 노드에는 그대로 사용할 수 없다. 이동노드에게 지속적인 인터넷 접속서비스를 제공하기 위해서 IETF는 모바일 IP를 정의하였다. 하지만 모바일 IP는 삼각 라우팅 문제와 계층3 핸드오프에 의한 패킷손실로 인해 전송성능이 저하되는 문제를 안고 있다. 특히, 실시간 멀티미디어 서비스를 모바일 IP에서 제공하기 위한 IETF의 두 가지 멀티캐스트 지원방안은 긴 전송경로와 패킷 중복(양방향 터널링 방안), 핸드오프 시 대량의 패킷손실(원격지 가입 방안)로 인해 실시간 멀티미디어 서비스의 품질을 보장하기가 어렵다. 본 논문은 모바일 IP에서의 실시간 멀티미디어 서비스 품질 보장을 위해 IETF의 원격지 가입 방안을 개선한 무손실 원격지 방안을 제안한다. 시뮬레이션 결과 본 논문에서 제안된 무손실 원격지 가입 방안은 IETF의 저 지연 핸드오프(low latency handoff)를 멀티캐스트 그룹관리에 적용함으로써 그룹 재가입에 따른 지연을 줄였으며, 무손실을 위해 서비스망 전체에서 요구되는 저장공간의 평균 크기가 기존에 제안되었던 무손실 방안의 약 0.58% 만을 사용해도 되는 수준으로 줄었다.

**키워드** : 모바일 IP, QoS, 멀티캐스트, 핸드오프

**Abstract** IP is not suitable for mobile nodes by network-based routing because mobile nodes are dynamically change their network attachment point. Mobile-IP is an IETF standard providing continuous access to the Internet for mobile nodes, but it has the triangle routing problem. Also it has a performance degradation problem by massive packet loss during layer 3 handoff of mobile nodes. Especially, two IETF multicast support schemes for Mobile-IP do not guarantee the quality of realtime multimedia services because they have several problems such as long routing path, packet duplication(bi-directional tunneling) and massive packet loss(remote subscription). In this paper, we propose a lossless remote subscription scheme that guarantees the quality of realtime multimedia services over Mobile-IP. From the result of simulation, we verified that the proposed scheme in this paper can reduce the delay time of remote subscription by the effect of the low latency handoff scheme that is extended to apply to the multicast group management and it requires only 0.58% buffer spaces of the previously proposed lossless remote subscription scheme.

**Key words** : Mobile-IP, QoS, Multicast, Handoff

## 1. 서 론

현재의 인터넷 사용자 환경은 유선과 무선이 통합되고 데이터가 실시간 멀티미디어 데이터화 되고 있지만 기존 TCP/IP는 고정된 호스트만을 고려하여 설계되어 호스트의 네트워크 이동이 발생하는 모바일 인터넷 환경을 적절히 지원하지 못하는 문제가 있다. 기존 IP에

<sup>†</sup> 정 회 원 : 울산과학기술대학교 컴퓨터정보학부 교수  
kimhc@mail.uc.ac.kr

<sup>††</sup> 종신회원 : 영남대학교 정보통신공학과 교수  
ytkim@yn.ac.kr

논문접수 : 2003년 11월 13일

심사완료 : 2004년 8월 12일

호스트의 이동성을 부여하기 위하여 IETF에서는 모바일 IP를 제안하였지만 이동 호스트의 핸드오프에 의한 패킷손실과 이에 의한 망 성능저하 문제 등을 완전히 해결하지 못하고있다[1-4]. 특히, 모바일 IP에서의 실시간 멀티미디어 서비스 제공을 위해 제안된 기존의 모바일 IP 멀티캐스트 지원방안들은 패킷 전송지연, 패킷손실, 확장성 등의 문제점들을 효율적으로 해결하지는 못하였다.

IETF는 모바일 IP에서의 멀티캐스트 지원을 위해 양방향 터널 멀티캐스트(Bi-directional Tunneled multicast: MIP-BT)와 원격지 가입(Remote Subscription: MIP-RS)의 두 기본 방안을 제안하였다[5]. 양방향 터널 멀티캐스트는 MH(Mobile Host)의 그룹 멤버가입을 MH가 현재 접속 서비스를 받고 있는 FA(Foreign Agent)가 아닌 HA(Home Agent)로 역방향 IP 터널을 통해 가입하는 방안이다. MIP-BT는 MH의 핸드오프에 의한 멀티캐스트 그룹 재가입 과정이 필요 없기 때문에 핸드오프로 인한 대량의 멀티캐스트 패킷손실은 발생하지 않는다. 그러나 MIP-BT는 삼각라우팅에 의한 패킷 전송지연 발생과 하나의 FA에 다수의 HA가 동일한 멀티캐스트 패킷을 전송하게 되는 터널 집중화와 이로 인한 패킷 중복 문제를 안고 있다. 특히 MIP-BT는 모바일 IP 서비스망 내부에서는 멀티캐스트가 아닌 유니캐스트로 패킷이 전달되므로 멀티캐스트의 특성을 잃어버리게 된다. MIP-RS는 MH가 접속 서비스를 받고 있는 현재의 FA에 그룹 멤버가입을 함으로써 멀티캐스트 패킷이 HA를 거치지 않는 최단 경로로 전달되기 때문에 모바일 IP에서 실시간 멀티미디어 서비스를 제공하기에 적합하다. 그러나 MH의 핸드오프에 의해 그룹 멤버가입을 이동한 새로운 FA에서 다시 하여야 함으로 인해 멀티캐스트 트리의 재구성 비용이 높고, 이로 인한 지연으로 심각한 패킷손실을 유발시키는 단점이 있다.

IETF의 멀티캐스트 지원 방안들이 갖고 있는 문제점들을 해결하기 위해 다수의 연구들이 진행되었다. 대표적인 방안들로는 MIP-BT의 터널 집중화 문제와 패킷 중복 문제를 해결하기 위한 MoM(Mobile Multicast)[1], 멀티캐스트 소스로부터 전송되는 멀티캐스트 패킷을 자신의 서비스영역에 있는 FA로 터널을 통해 분배를 담당하는 MHA(Multicast Home Agent)를 제안한 RBMoM(Range-Based Mobile Multicast)[2], FA에서 멀티캐스트 트래픽의 캐싱을 통하여 MIB-RS의 패킷손실과 아웃오브싱크(out-of-sync) 문제를 해결한 MMROP(Mobile Multicast with Routing Optimization)[3]가 있다. 그리고 표준 IP 멀티캐스트가 아닌 SSM(Source-Specific Multicast)[6], Xcast(Explicit Multicast Tunneling)[7]등의 멀티캐스팅 방안이 IETF에서 제안되고

있는데, 이 중 Xcast를 기반으로 한 모바일 IP 멀티캐스트 지원방안으로 E<sup>2</sup>MMP(Efficient Explicit Mobile Multicast Routing Protocol)[4]가 발표되었다.

MoM과 RBMoM은 MIP-BT를 기반으로 함으로써 실시간 멀티미디어 서비스를 위한 최단 전송경로를 제공하지 못하는 단점이 있으며, E<sup>2</sup>MMP는 D 클래스 주소가 아닌 유니캐스트 IP 주소를 사용하는 Xcast에 의존적이어서 일반성을 갖지 못한다. MMROP는 MIP-RS를 기반으로 하여 최단 라우팅 경로를 제공하고, FA에서의 패킷 캐싱을 통해 패킷손실 및 아웃오브싱크 문제를 해결하였다. 하지만 멀티캐스트 그룹단위의 고정적인 패킷 캐싱은 멀티캐스트 그룹의 증가와 MH가 서비스망에서 넓게 분포할 경우 자원의 낭비가 심해져 프로토콜 비용을 높이는 결과를 가져온다.

본 논문에서는 MIP-RS를 기반으로 하며, 저 지연 핸드오프[8]와 패킷 버퍼링을 통해 MIP-RS가 갖는 대량의 패킷손실과 아웃오브싱크 문제를 해결한 무손실 방안을 제안한다. 그룹 멤버가 존재하는 동안 고정적으로 패킷을 캐싱하는 MMROP와는 달리 본 논문에서 제안된 방안은 MH의 핸드오프 시에만 버퍼링을 함으로써 모바일 IP 서비스망에서의 멀티캐스트 지원을 위해 요구되는 저장공간의 낭비를 줄였다. 실험결과 본 논문에서 제안한 방안은 MMROP에 비하여 서비스망 전체에서 무손실을 위해 필요한 버퍼 사용량을 MMROP의 0.58% 수준으로 줄였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서 선행 연구들에 대하여 분석하고, 3장에서 본 논문이 제안하는 L<sup>2</sup>HMoM(Low Latency Handoff for Mobile-IP Multicast)에 대하여 설명한다. 그리고 4장에서는 L<sup>2</sup>HMoM을 분석한 후, 5장에서 결론을 맺도록 한다.

## 2. 관련 연구

### 2.1 IETF 모바일 IP 멀티캐스트(MIP-BT, MIP-RS)

IETF에서는 모바일 IP의 멀티캐스트 지원방안으로 MIP-BT와 MIP-RS를 제안하였다[5]. 이 방안들은 D 클래스 IP 멀티캐스트를 모바일 IP에서 적용하기 위한 지침 정도의 기능을 정의하고 있어 실질적으로 모바일 IP 서비스 망에 적용하는데는 많은 문제점들을 해결하여야 한다.

MIP-BT는 모바일 IP의 역 터널링(reverse tunneling) 기법을 멀티캐스트에 적용한 방안이다. MH가 현재의 FA 서비스 영역에 있고 멀티캐스트 그룹 멤버로 가입하려면, MH는 FA와 HA 사이에 COA 등록 시 설정된 역방향 터널을 통해 IGMP 보고를 HA로 송신함으로써 HA의 그룹 멤버로 가입한다. 멀티캐스트 소스로부터 그룹 멤버들에게로 보내지는 패킷들은 MHI의

HA로 먼저 멀티캐스팅 되고, 이 패킷들은 다시 MH가 현재 접속 서비스를 받고 있는 FA로 터널을 통해 유니캐스트로 전달된다. 터널을 통해 전달된 패킷들은 FA에 의하여 MH로 전달된다. MIP-BT에서 MH는 그룹 멤버가입을 최초로 한번 HA에 수행하며, MH의 핸드오프에 대하여 다시 그룹 멤버가입이 필요 없다. 하지만, 터널링으로 인해 최단 전달경로의 제공은 어렵고, HA가 다르면서 동일 그룹에 가입된 MH가 동일 FA에서 서비스를 받고 있는 경우 다수의 HA가 하나의 FA로 동시에 동일 멀티캐스트 패킷을 전달하는 터널 집중화 문제를 갖고 있다.

MIP-RS는 D 클래스 IP 주소는 네트워크의 주소와는 무관하게 사용되는 점을 이용한 것이다. MH는 단순히 자신이 현재 서비스 받고 있는 FA에게 그룹 멤버로 가입하고, 멀티캐스트 소스로부터 FA로 멀티캐스팅 되는 패킷을 바로 수신한다. MIP-RS에서는 멀티캐스트 소스에서 MH까지 최단경로로 패킷을 전달함으로써 전송 지연이 최소화되어 전송 지연에 민감한 실시간 멀티미디어 서비스 제공에 적합하다. 하지만 MH의 핸드오프에 의해 그룹 멤버 가입을 새로운 FA에서 다시 수행하여야하기 때문에 멀티캐스트 트리의 재구성이 완료될 때까지 패킷 수신을 못하게 되어 많은 수의 패킷을 손실하게 된다. MH의 핸드오프 이전의 FA와 핸드오프 이후의 FA가 멀티캐스트 소스로부터 전달되는 평균 전송지연 시간이 차이가 나면, 임의의 시점에서 최종 노드로 전달되는 패킷이 동일하지 않은 경우가 발생하게 되는데 이를 아웃오브싱크라 한다. MIP-RS에서는 핸드오프 시에 이러한 아웃오브싱크로 인해 멀티캐스트 패킷의 손실이 발생할 수 있다.

## 2.2 MoM(Mobile Multicast)

MIP-BT는 터널 집중화에 의하여 멀티캐스트 패킷이 중복되는 문제점이 있다. MIP-BT의 이런 문제점을 해결하기 위한 방안 중의 하나가 MoM이다[1]. 다수의 HA로부터 하나의 FA로 동일 패킷을 터널링하는 현상인 터널 집중화를 방지하기 위하여 MoM은 FA가 다수의 HA들 중에서 하나의 HA만을 선택하여 해당 그룹의 패킷을 전달하도록 한 것이다. 멀티캐스트 패킷을 전달하도록 선택된 HA를 DMSP(Designated Multicast Service Provider)라고 하며, DMSP가 아닌 다른 모든 HA들은 해당 멀티캐스트 패킷의 전송을 금지 당한다.

만약 DMSP로 선택된 HA가 자신의 HA인 MH가 현재의 FA의 서비스 영역에서 새로운 FA의 서비스 영역으로 이동하면 이전의 DMSP는 더 이상 핸드오프 이전의 FA를 위한 DMSP의 역할을 수행하지 못하므로 새로운 DMSP를 선택하는 과정인 DMSP 핸드오프가 발

생한다. MoM은 DMSP에 의하여 터널의 집중화 문제는 해결하였지만, DMSP 핸드오프 시에 패킷손실이 발생하고, 아웃오브싱크 문제를 새롭게 갖게 되는 단점이 있다.

## 2.3 RBMoM(Range-Based Mobile Multicast)

RBMoM은 MoM과 MIP-RS의 중간 형태로서 최단 거리 전송 경로와 멀티캐스트 트리 재구성에 대한 평균적인 성능을 목표로 한다[2]. RBMoM에서는 MH별로 멀티캐스트 그룹 패킷을 전달해줄 MHA(Multicast Home Agent)를 제안하였다. MHA는 HA와는 달리 동적으로 변경되는 멀티캐스트 대행자이다. MH가 FA의 서비스 영역에 들어가면 COA(Care-of-Address) 등록 절차를 거치게 되는데, 이때 FA는 HA에게 MH의 현재 MHA가 어디인가에 대한 정보를 입수하고 MHA와 자신간 서비스 영역을 계산한다. MHA와 FA 사이의 거리가 MHA의 서비스 영역을 벗어나면 MHA 핸드오프가 발생한다. MHA 핸드오프는 새로운 FA를 MHA로 선택하고, 선택된 FA가 해당 멀티캐스트 그룹에 가입하고, HA로 MHA의 핸드오프를 알려주는 일련의 절차를 수행하는 것이다. 만약 MHA와 FA사이의 거리가 MHA의 서비스 영역 안에 있으면 새로운 FA가 단순히 MHA로 자신이 MH를 서비스하고 있음을 알려주면 된다.

MHA의 서비스 영역 크기가 무한대라고 하면 RBMoM은 MoM과 유사하고, MHA의 서비스 영역 크기가 0이라고 하면 MIP-RS와 유사하다. 하지만 RBMoM의 MHA 핸드오프는 절차적으로 MIP-RS 보다 복잡하여 지연시간이 길어질 수 있으며, MoM에서와 같이 DMSP를 이용해 MHA와 FA 사이의 터널 집중화를 방지함으로써 MHA의 서비스 영역이 넓어질 경우 아웃오브싱크 문제를 발생시킬 수 있다.

## 2.4 MMROP(Mobile Multicast with Routing Optimization)

MMROP[3]는 MIP-BT를 기반으로 하는 MoM, RBMoM과는 달리 MIP-RS를 기반으로 설계되었다. MMROP는 멀티캐스트 그룹 멤버를 갖는 FA에서 패킷을 캐싱 함으로써 MIP-RS의 패킷 손실 문제를 해결하였다. MMROP에서 FA가 그룹 멤버를 갖는 경우 해당 그룹을 위한 캐시를 할당하고, 이미 서비스된 멀티캐스트 패킷들을 이 캐시에 저장한다. MH는 새로운 FA로 핸드오프하여 MIP-RS에서와 같이 원격지 등록을 수행하고, 이후에 새로운 FA에서 수신되는 멀티캐스트 패킷의 순서 번호를 핸드오프 이전 FA에서 마지막 수신한 패킷의 순서 번호와 비교한다. 순서 번호의 비교 결과에 따라 MH는 0(zero) 오프셋 또는 오프셋 블록을 갖는

이동(leave) 메시지를 핸드오프 이전 FA로 전송한다. 핸드오프 이전의 FA는 MH의 이동 메시지에 기록된 오프셋 정보에 따라 해당 그룹 캐시를 제거하거나 요청된 블록의 패킷들을 MH로 전달한다.

MMROP는 장시간 이동이 없는 경우에 실시간 멀티미디어 서비스에 적합한 MIP-RS의 패킷손실과 아웃오브싱크 문제의 해결방안을 제시하였다. 하지만 MH의 이동이 없는 경우에도 FA는 서비스된 패킷을 캐싱 하여야하고, MH의 핸드오프 완료 이후에 순서번호를 확인함으로써 손실 패킷의 복구를 위한 지연 시간이 길어져 핸드오프 이전의 FA에 캐싱 부담을 주게 된다. 특히, MH가 핸드오프 이전 FA로 명시적인 이동 메시지를 보내는 방법은 새로운 FA가 핸드오프 이전 FA로부터 전달되는 아웃오브싱크 해결을 위한 중복 패킷의 처리를 어렵게 한다.

### 2.5 E<sup>2</sup>MMP(Efficient Explicit Mobile Multicast Routing Protocol)

E<sup>2</sup>MMP는 소규모 멀티캐스트 그룹을 위한 Xcast를 기반으로 모바일 IP의 이동성을 제공하기 위하여 제안되었다[4]. 따라서 D 클래스의 멀티캐스트 그룹 주소를 사용하지 않고 유니캐스트 주소를 사용하여 멀티캐스트를 수행한다. E<sup>2</sup>MMP는 IP 헤더와 데이터 사이에 그룹 멤버인 MH들의 목적지 홈 주소 리스트와 COA 리스트를 동시에 기록할 헤더를 추가하여야 한다. 이 방안은 단순히 멀티캐스트 패킷 전송 관점에서 보면 D 클래스 주소를 이용한 멀티캐스트에 비하여 멀티캐스트 트리 구성에 소요되는 비용을 줄일 수 있으나, 모바일 IP에서는 MH가 이동함에 따라 멀티캐스트 소스가 계속해서 MH의 COA를 추적하여야 하는 문제점이 있다. 또한, 멀티캐스트 그룹 크기가 크질 경우 패킷 헤더의 오버헤드가 증가하여 교환 노드에서의 처리 지연이 증가할 우려가 있다.

### 3. 저 지연 핸드오프 기반의 모바일 멀티캐스트(L<sup>2</sup>HMoM)

모바일 IP는 계층2의 기능과는 독립적으로 운영되도록 설계되어있다[8]. 이렇게 함으로써 광범위한 응용성을 가질 수는 있지만 결과적으로 계층3의 핸드오프를 완료할 때까지의 지연 시간을 증가시켜 패킷손실을 피할 수 없게 만들었다[8]. 본 논문이 제안하는 L<sup>2</sup>HMoM은 이러한 문제의 해결을 위해 저 지연 핸드오프[8]를 멀티캐스트에 적용하여 MIP-RS의 패킷손실과 아웃오브싱크 문제를 해결하는 데 목적이 있다.

#### 3.1 모바일 IP 서비스 망

본 논문에서는 MPLS를 모바일 IP 서비스망으로 가정하여 향후 모바일 IP에서의 QoS 보장형 멀티미디어 서비스의 제공을 고려하였다. 모바일 IP에서의 QoS 보장형 모바일 IP를 위해서는 DiffServ, RSVP 등과 함께 라우팅과 TE(Traffic Engineering)가 결합된 개념인 MPLS를 적용할 수 있다[9-11]. MPLS를 서비스망으로 사용하는 경우 QoS의 보장뿐만 아니라 모바일 IP의 터널을 LSP로 대체하여, 캡슐화 등의 오버헤드를 줄일 수 있으며 휴 기반 라우팅에 의한 전송 지연을 줄일 수 있다는 장점이 있다[9-11]. 그림 1은 MPLS 상에서 모바일 IP를 서비스하는 개념을 도식화 한 것이다.

MPLS와 모바일 IP를 통합하여 서비스망을 구성하는 방안들은 MPLS의 FEC(Forwarding Equivalence Class) 집합화를 이용한 터널과 LSP의 통합[9], 계층형 FA 방식의 LSP 구성[10], MH의 이동경로 정보를 이용한 사전 LSP 설정[11] 등이 제안되었다. 그림 1의 서비스 망은 유니캐스트 트래픽에 대한 통합 방안만을 도식화 한 것이며, 멀티캐스트를 MPLS에서 지원하기 위해서는 멀티캐스트 LSP를 구성하기 위한 별도의 연구가 필요하다. DVMRP[12], PIM-DM[13], PIM-SM

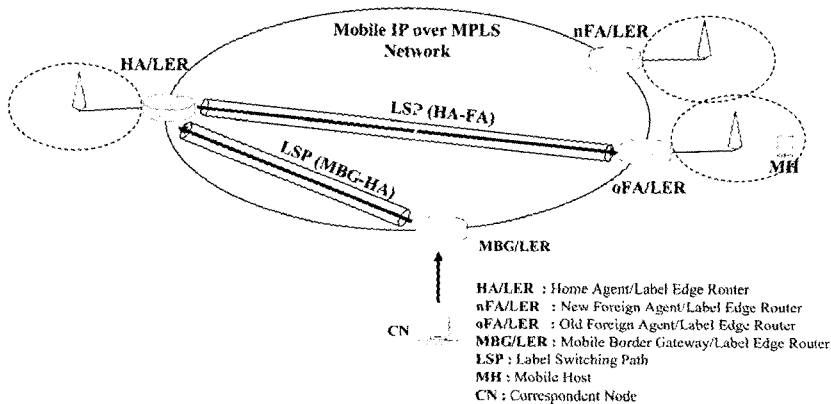


그림 1 MPLS 상에서의 모바일 IP 서비스 개념도

[14], CBT[15] 등과 같은 멀티캐스트 라우팅에 의해 구성되는 멀티캐스트 트리와 MPLS의 멀티캐스트 LSP의 매핑 방안은 본 논문의 영역에 포함되지 않았다. 또한 멀티캐스트 소스의 이동에 대해서도 현재로서는 고려하지 않았다. 본 논문은 원격지 등록 방안(MIP-RS)에서 MH의 핸드오프로 인해 발생하는 패킷손실을 복구하기 위한 방안의 전달기능으로써만 MPLS의 LSP를 사용한다. 본 논문에서 제안하는 L<sup>2</sup>HMoM은 MPLS를 LSP를 사용하여 정의되었지만 IP 터널링을 사용하는 것도 가능하다.

3.2 계층2 트리거

L2 트리거는 계층2의 핸드오프 절차와 관련된 일련의 사건에 대한 정보를 상위계층으로 알려주는 신호이다 [8]. 계층2에서 고려할 수 있는 한가지 가능성은 MH의 신호강도 측정에 의해 조기에 핸드오프 발생을 감지할 수 있다는 것이다[8]. 본 논문은 유니캐스트를 대상으로 제안된 저 지연 핸드오프의 L2 트리거를 멀티캐스트에 활용하여 MH의 멀티캐스트 그룹 등록 절차를 계층2의 핸드오프 발생 전에 수행함으로써 MIP-RS가 갖는 패킷손실 및 아웃오브싱크 문제를 해결한다.

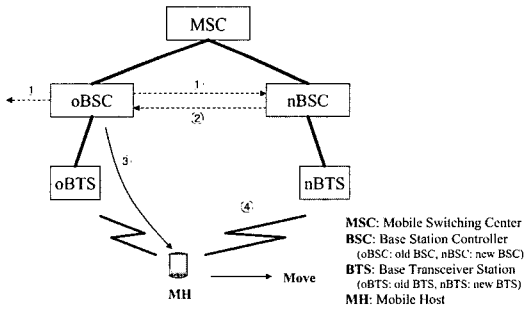


그림 2 계층2의 핸드오프 절차 예

그림 2는 셀룰러 기반 이동 통신 시스템에서의 핸드오프 절차를 개략적으로 도식화한 것이다. 그림 2에서의 핸드오프 절차는 다음과 같이 개략적으로 설명할 수 있다.

- MH의 이동은 파일럿 채널의 신호 강도를 이용해 계산된다.
- MH가 nBTS로 이동해 갈수록 oBSC에서는 MH의 신호강도는 약해지고, 이동해 가는 쪽의 nBSC에서는 강해진다.
- oBSC에서 MH의 신호강도가 임계치에 가까워지면
  - ① oBSC는 MSC를 통해 주위의 BSC들 중에서 MH의 신호강도가 임계치에 가까워진 BSC를 찾는다. (핸드오프 예측, 트리거 발생)
  - ② 임계치에 가까워진 nBSC의 정보를 입수한다.

- MH가 더욱 더 이동하여 신호강도가 임계치를 넘어서면
  - ③ oBSC는 핸드오프 명령을 수행한다.
  - ④ MH는 oBTS와의 링크를 해제하고 nBTS와 새로운 링크를 구성한다.(계층2 핸드오프, 트리거 발생)
- IETF의 저 지연 핸드오프에는 다섯 종류(L2-MT, L2-ST, L2-TT, L2-LU, L2-LD)의 L2 트리거를 정의하고 있다[8]. 다섯 종류의 L2 트리거에 대한 개요는 다음과 같다.
  - L2-MT(Mobile Trigger): MH가 새로운 FA의 영역으로 들어갔음을 알려주는 트리거로 MH에서 발생한다.
  - L2-ST(Source Trigger): MH의 이전 FA에서 발생되며 계층2의 핸드오프가 곧 발생할 것임을 알려준다.
  - L2-TT(Target Trigger): MH의 새로운 FA에서 발생되며 MH가 곧 자신에게로 핸드오프 할 것임을 알려준다.
  - L2-LU(Link Up): MH와 새로운 FA에서 발생되며 MH와 새로운 FA 사이에 계층2의 링크 구성이 완료되었음을 알려준다.
  - L2-LD(Link Down): MH와 이전 FA에서 발생되며 MH와 이전 FA 사이의 계층2 링크가 끊어졌음을 알려준다.

L2 트리거에는 계층2의 핸드오프 절차에서 입수한 MH의 주소 인식자와 oFA 또는 nFA의 주소 인식자를 포함하여야한다[8]. 사용 가능한 인식자로는 IP 주소 또는 링크계층의 주소가 있다. 링크 계층의 주소를 IP 주소 인식자로 사용하는 경우 이를 IP 주소로 변환하는 방법이 제공되어야 한다. L<sup>2</sup>HMoM에서는 이들 5가지의 트리거 중 L2-ST, L2-LU, L2-LD의 세 가지 트리거만을 사용하며, FA는 BSC역할을 수행하는 경계라우터에 위치하는 것으로 가정한다.

3.3 L<sup>2</sup>HMoM 동작

L<sup>2</sup>HMoM은 저 지연 핸드오프가 사전등록(Pre-registration) 방안의 적용을 가정하여 설계하였다. 저 지연 핸드오프의 사전등록 방안에서는 MH의 핸드오프를 예측하여 발생하는 트리거에 의하여 MH가 새로운 FA로 사전에 등록요청 메시지를 전송하도록 하고 있다 [8]. L<sup>2</sup>HMoM을 위해서 FA는 멀티캐스트 라우터 기능을 수행하여야 한다.

그림 3에서와 같이 MH가 oFA/LER(old FA/Label Edge Router)에서 nFA/LER(new FA/Label Edge Router)로 접근하면 임의의 시점에서 oFA/LER은 MH의 계층2 핸드오프의 발생을 예측하게 되고, L2-ST 트리거를 발생시킨다. oFA/LER은 L2-ST 트리거로부터 MH가 핸드오프 하게 될 nFA/LER의 주소 정보를 입수하고 MH의 멀티캐스트 그룹에 대하여 MH를 대신해

대리 IGMP 보고(proxy IGMP report) 메시지를 토폴로지 기반의 LSP를 통해 nFA/LER로 전달한다. oFA/LER과 nFA/LER 사이에는 nFA/LER의 네트워크 주소(network prefix)를 FEC(Forwarding Equivalence Class)로 하는 토폴로지 기반의 LSP가 사전에 구성되어 있다.

대리 IGMP 보고에 의해 계층2 핸드오프 발생 전에 MII가 핸드오프 할 nFA/LER에 MH의 멀티캐스트 그룹을 사전에 등록한다. nFA/LER은 이 대리 IGMP 보고 메시지를 자신의 모바일 IP 서비스 인터페이스에서 수신한 IGMP 보고 메시지와 동일하게 취급하여 그룹이 nFA/LER에 현재 등록되어있지 않으면 nFA/LER은 멀티캐스트 라우팅을 통해 해당 그룹에 대한 멀티캐스트 트리를 재구성하고, 그룹정보가 이미 등록되어 있는 경우에는 nFA/LER은 대리 IGMP 보고 메시지를 폐기한다.

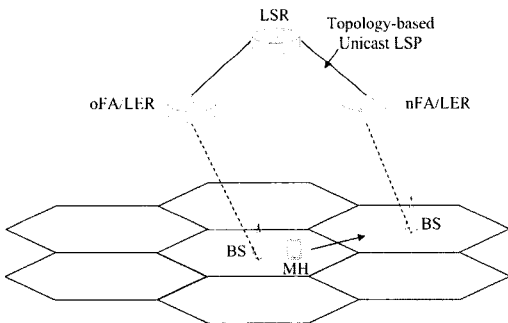


그림 3 멀티캐스트 핸드오프를 위한 MPLS 기반의 모바일 IP 토폴로지

oFA/LER에서의 MH 신호강도가 임계값 이하로 약해지고, nFA/LER에서는 임계값 이상으로 강해지는 상태가 되면 MH의 계층2 핸드오프가 수행된다. MH의 계층2 핸드오프를 위해 MH와 oFA/LER에는 L2-LD 트리거가 전달되고, MH와 oFA/LER간의 링크는 끊어

진다. L2-LD 트리거에 대하여 MH는 RTP[16] 등과 같은 실시간 멀티미디어 트래픽에 대한 마지막 수신파킷의 순서번호를 자신의 멀티캐스트 정보에 저장한다. MH에 기록된 순서번호는 이후에 손실 패킷의 복구를 위한 비교값으로 사용된다. oFA/LER은 MH의 L2-LD 트리거에 의하여 MH를 위한 버퍼를 생성하고 멀티캐스트 패킷들을 저장한다.

계층2의 핸드오프가 완료되면 MH와 nFA/LER에 L2-LU 트리거가 전달된다. 계층2의 핸드오프가 진행되는 동안에 nFA/LER에서는 oFA/LER의 대리 IGMP 보고에 의하여 MH의 그룹을 위한 멀티캐스트 트리 재구성이 미리 진행됨으로써 멀티캐스트 핸드오프 과정이 계층2의 핸드오프보다 먼저 완료거나 아주 작은 시간간격을 두고 완료된다. 만약 MH의 멀티캐스트 그룹이 nFA/LER에 이미 존재하였다면 멀티캐스트 트리 재구성이 필요 없으므로 L2-LU 트리거의 발생 즉시 MII는 멀티캐스트 패킷을 수신할 수 있다. L<sup>2</sup>HIMoM에 의해서 멀티캐스트 패킷손실은 L2 핸드오프 시에 발생하는 손실이 된다. TCP를 기반으로 한 서비스의 경우 L2 핸드오프에 의한 패킷손실은 에러제어를 통해 복구가 가능하지만, RTP와 같이 UDP를 사용하는 멀티미디어 서비스가 무손실을 필요로 하는 경우에는 복구를 위해 별도의 방법을 제공하여야 한다.

L<sup>2</sup>HIMoM의 무손실 멀티캐스트 핸드오프 지원을 위해서는 핸드오프 이전의 FA로 복구를 위한 제어신호를 전송할 필요가 있는데 이를 위해 L<sup>2</sup>HIMoM은 모바일 IP의 등록요청 메시지와 경로 최적화를 위한 제어신호를 사용한다. L<sup>2</sup>HIMoM은 계층2의 핸드오프 시 발생되는 패킷손실을 복구하기 위해 모바일 IP의 등록요청 메시지에 손실된 패킷의 오프셋 정보를 실어 보내야 하기 때문에 최소한 nFA/LER에서 MII가 최초의 멀티캐스트 패킷 수신을 모바일 IP의 등록요청 메시지 전송 이전에 할 수 있도록 L2-ST의 시점을 결정하는 것이 중요하다. L2 핸드오프에 의하여 손실된 패킷을 복구하기 위해서는 그림 4의 멀티캐스트 오프셋 확장을 MII의 등

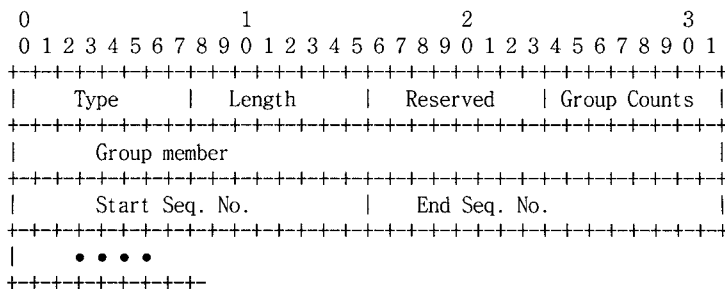


그림 4 멀티캐스트 오프셋 확장

록요청 메시지와 경로 최적화의 바인딩 업데이트 메시지에 포함시켜 전송한다.

MH는 새로운 FA의 서비스 영역에서 최초로 전달되는 멀티캐스트 패킷의 순서번호와 핸드오프 전에 마지막으로 수신한 패킷의 순서번호를 비교하여 최초 수신 패킷의 순서번호가 같거나 작은 경우(패킷의 손실이 없는 경우)에는 멀티캐스트 오프셋 확장의 시작과 끝 번호를 모두 0(zero)로 기록한 등록요청 메시지를 nFA/ LER로 전송하고, 최초 수신 패킷의 순서번호가 큰 경우(패킷의 손실이 있는 경우)에는 멀티캐스트 오프셋 확장에 손실된 패킷의 오프셋을 기록한 등록요청 메시지를 nFA/LER로 전송한다. 패킷의 손실이 있는 경우 멀티캐스트 오프셋 확장의 시작번호 필드에는 MH에 기록된 순서번호의 다음 번호가 기록되고, 끝 번호 필드는 MH가 nFA/LER로부터 최초로 수신한 멀티캐스트 패킷의 이전 순서번호가 기록되어 전송된다. MH는 자신의 멀티캐스트 패킷 수신 상태를 아웃오브싱크 상태로 설정하고 손실 패킷이 모두 복구될 때까지 nFA/LER로부터 수신되는 멀티캐스트 패킷들을 자신의 버퍼에 저장한다.

MH의 멀티캐스트 오프셋 확장을 갖는 등록요청 메시지가 nFA/LER에 전송되면, nFA/LER은 멀티캐스트 오프셋 확장을 바인딩 업데이트 메시지에 복사한 후 oFA/LER로 전송하여 MH의 손실된 패킷들을 복구해 줄 것을 요청한다. oFA/LER은 바인딩 업데이트 메시지의 패킷 오프셋 정보를 이용하여 버퍼에 저장해 놓았던 패킷들을 MH의 호스트 주소와 FEC 집합화된 토폴로

지 기반 LSP를 통해 nFA/LER로 전달하고 nFA/LER은 MH로 전달한다. oFA/LER의 패킷 복구가 완료되면 oFA/LER은 MH와 관련된 멀티캐스트 버퍼를 제거한다. MH는 손실된 패킷들이 모두 도착하면 멀티캐스트 수신 상태를 정상상태로 전환하고, 복구를 위해 버퍼링하고 있던 정상 수신 패킷들을 차례대로 처리한다.

L<sup>2</sup>HMoM의 수행 절차에 대한 타이밍 다이어그램과 MMROP의 타이밍 다이어그램의 비교는 그림 5와 같다. 그림 5의 (a)에서 MMROP는 계층2 핸드오프가 수행된 이후에 nFA에서 IGMP 보고를 통해 멀티캐스트 트리 재구성이 수행됨을 알 수 있다. 따라서 패킷의 손실은 계층2 핸드오프, 멀티캐스트 트리 재구성 그리고 아웃오브싱크에 의해서 발생될 수 있고, oFA/LER은 이들 패킷의 손실을 복구하기 위하여 예상되는 패킷손실보다 큰 캐시를 항상 유지하여야 한다. 또한 핸드오프가 수행된 경우 nFA에서도 동일한 크기의 캐시가 할당되어 서비스되는 패킷을 캐시 하여야한다. 이러한 캐시 할당은 모바일 IP 서비스망의 처리 자원을 낭비하게 되어 프로토콜 비용을 상승시키게 된다. 하지만 (b)에서 L<sup>2</sup>HMoM은 계층2의 핸드오프와 멀티캐스트 트리 재구성이 중첩되어 수행됨으로 MH의 핸드오프로 인해 oFA/LER에서 할당해야 하는 버퍼의 크기는 크지 않으며, 수신측에서의 버퍼링도 nFA/LER이 아닌 MH에서 수행되므로 서비스 망의 처리 자원을 사용하지 않는다. 특히 핸드오프 수행 시에만 버퍼링을 하기 때문에 MH가 핸드오프를 수행하지 않는 경우에는 처리 자원의 낭

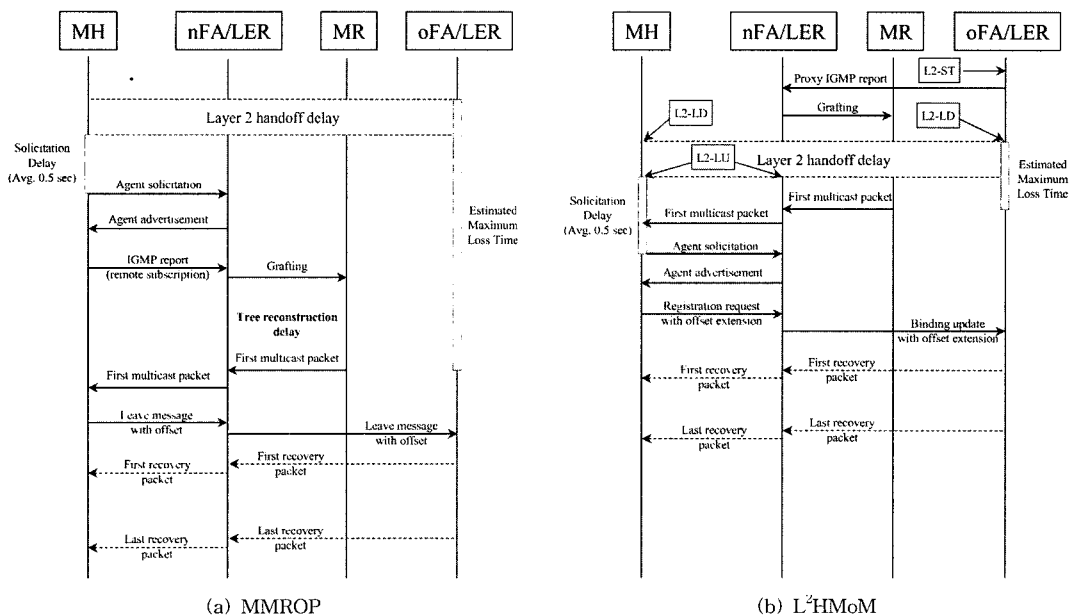


그림 5 무손실 방안 타이밍 다이어그램 비교

비가 없다. 다이어그램에서 모바일 IP 등록절차 중 유니캐스트 관련부분은 생략하였다.

#### 4. L2HMoM 성능 비교 분석

본 절에서는 L<sup>2</sup>HMoM을, MMROP, MIP RS와 평균 버퍼사용량과 프로토콜 비용에 대하여 서로 비교 분석한다. L<sup>2</sup>HMoM은 MIP RS를 기반으로 하기 때문에 MIP BT 기반의 기타 방안들과 Xcast 기반의 방안은 비교대상에서 제외한다. 분석을 위한 망 토폴로지는 그림 6과 같이 8x8의 격자 구조를 갖는 이동 인터넷 서비스망을 가정한다. 모바일 IP 서비스망은 유선 전달망과 1홉의 무선 접속구간을 갖는 유선 통합망으로 구성되므로 그림 6의 토폴로지는 유선 전달망을 MPLS 망으로 구성한 경우 코어(백본), 분배 및 에지의 3계층 구조로 구성하고 에지 MPLS 라우터가 FA 역할과 멀티캐스트 라우터 역할을 수행한다는 시나리오에 의하여 구성되었다. 각 격자는 2Km의 직경을 갖는 것으로 가정하였다. 각 무손실 멀티캐스트 지원방안들의 패킷손실에 대한 분석을 단순화하기 위하여 유선망에서의 패킷손실은 발생하지 않으며, 발생하는 모든 패킷의 손실은 무선 접속구간에서의 핸드오프에 의해서만 발생하는 것으로 가정한다. 시뮬레이션을 위해 N개의 MII가 임의로 선택되며, 초기 MII의 위치는 8x8 격자 구조망 안에서 임의의 위치에 정해진다. MII의 초기 위치에 있는 에지 라우터를 HA로 한다. 소스 멀티캐스트 트리의 루트는 편의상 좌표(0,0)의 격자에 위치하는 것으로 가정한다. 소스 멀티캐스트 트리는 밀집 모드(Dense Mode)에 의하여 구성된다. MII의 무손실을 핸드오프를 위한 버퍼사용량은 사람이 걸어가는 정도의 속도 (4Km/h)와 차량이 이동하는 속도(60Km/h)에 대하여 각각 측정하였다.

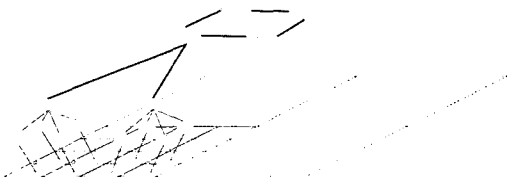


그림 6 시뮬레이션 토폴로지

##### 4.1 버퍼 사용량 비교 분석

L<sup>2</sup>HMoM의 분석을 위하여 [17]에서 제안된 성능 분석 모델을 멀티캐스트에 적용하여 그림 7과 같이 변경하였다. 두 노드 사이의 거리는 평균 홉 수로 표현되며 그림 7에서는 a, b, c, d, e, f로 각각 나타내었다. HA/LER에서 oFA/LER, HA/LER에서 nFA/LER까지의 평균거리는 실험결과 동일한 것으로 나타났다[17].

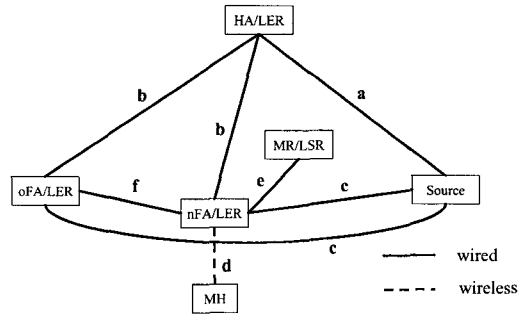


그림 7 성능 분석 시스템 모델

MIP-RS에서 MH의 핸드오프로 인한 oFA/LER에서의 멀티캐스트 패킷손실은 계층2 핸드오프 시간과 nFA/LER에 MH를 위한 그룹 멤버가 존재하지 않는 경우에 MH의 IGMP 보고 메시지 전송 지연시간 그리고 멀티캐스트 트리 재구성에 소요되는 평균 지연 시간을 모두 더한 시간 동안의 패킷손실로 표현할 수 있다. 따라서 MIP-RS의 경우 핸드오프로 인한 oFA/LER에서의 평균 패킷손실  $L_{MIP-RS}$ 은 다음의 식으로 계산할 수 있다.

$$L_{MIP-RS} = \lambda \cdot t_{handoff} \tag{1}$$

$$t_{handoff} = \{layer2\ handoff\ time\} + \{IGMP\ report\ delay\ time\} + \{multicast\ tree\ join\ delay\ time\} \tag{1-1}$$

$\lambda$  : 소스의 멀티캐스트 데이터 패킷 평균 전송률

$t_{handoff}$  : 멀티캐스트 핸드오프 지연시간

nFA/LER에 이미 그룹 멤버가 등록되어 있으면 MH는 계층 2 핸드오프 완료와 동시에 멀티캐스트 nFA/LER로부터 멀티캐스트 패킷을 수신할 수 있으므로 {IGMP report delay time}과 {multicast tree join delay time}은 0(zero)이 된다. 하지만, nFA/LER에 그룹 멤버가 존재하지 않는 최초의 그룹 가입인 경우 멀티캐스트 트리 재구성 과정을 수행하여야 한다. 이 경우에는 MII의 IGMP 보고 메시지의 전송 시점과 트리 재구성에 소요되는 시간이 중요하게 된다.

IGMP는 모바일 IP의 핸드오프로 인해 링크가 잠시 동안 해제되었다가 연결된 상황의 경우 IGMP 보고 메시지를 즉시 nFA/LER로 전송하지 않는다. 링크의 해제가 핸드오프에 의한 것이라는 것을 MII가 인식하는 시간 동안에는 IGMP 보고 메시지를 전송할 수 없다. 만약 핸드오프 절차에 별도의 지원 방안이 적용되지 않는다면 평균 1분 이상의 지연시간이 발생할 수 있다. 이는 MII가 이미 핸드오프 이전 FA에 그룹 가입을 한 상황이므로 다시 IGMP 보고를 보내기까지는 그룹 모니



터링 절차를 따라야 하기 때문이다. 따라서 IGMP 라우터의 질의 주기가 125초로 설정된 경우에 MH가 nFA/LER로부터 질의를 받은 후 IGMP 보고를 전송하는데 까지 소요되는 평균 지연시간은 약 1초가 된다 [18].

모바일 IP의 광고 요청 메시지는 ICMP의 라우터 요청 메시지를 확장한 것이다. 모바일 IP에서는 광고 요청 시에 IGMP 보고 메시지를 함께 전송하도록 하면, {IGMP report delay time}을 평균 0.5초의 지연만으로 가능하다. 이는 ICMP의 라우터 요청 지연이 0과 1초 사이의 임의의 시간으로 설정되기 때문이다[19]. 따라서 MIP-RS에서의 멀티캐스트 핸드오프 지연시간은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$t_{handoff} = \begin{cases} t_{2h}, & \text{if there are group members in nFA/LER} \\ t_{2h} + t_{rpt-dly} + (t_d + t_e + 3 t_{proc}), & \text{if there is no group member in nFA/LER} \end{cases} \quad (2)$$

{layer2 handoff time} =  $t_{2h}$  (2-1)

{IGMP report delay time} =  $t_{rpt-dly} = \frac{1}{2}$  sec (2-2)

{multicast join delay time} =  $t_d + t_e + 3 t_{proc}$  (2-3)

$t_d$  : 그림 7에서 MH와 nFA/LER 사이의 평균 전송지연 시간

$t_e$  : 그림 7에서 MR/LER과 nFA/LER 사이의 평균 전송지연 시간

$t_{proc}$  : 각 노드에서의 트리 재구성을 위한 메시지 평균 처리지연 시간

$t_{2h}$  : 계층2 평균 핸드오프 지연 시간

$t_{rpt-dly}$  : IGMP 보고 메시지 전송지연 시간

MH의 핸드오프에 의한 패킷손실을 MMROP와 L<sup>2</sup>HMoM은 핸드오프 이전의 FA에 임시로 저장함으로써 복구하고 있다. 두 방안 모두 임시로 저장된 패킷으로부터의 복구를 통해 MH의 무손실 핸드오프를 제공하고 있지만 MMROP는 MH의 핸드오프가 발생하지 않는 경우에도 항상 MH의 그룹 단위로 캐시에 서비스된 패킷들을 저장하여야 하는데 반해 L<sup>2</sup>HMoM은 MH의 핸드오프가 발생하지 않는 경우에는 패킷을 버퍼링 하지 않는 차이가 있다. MMROP는 무손실 멀티캐스트 핸드오프를 위해 최소한 식 (2)의 최대값 이상의 시간동안 전송되는 패킷을 캐시에 항상 저장하고 있어야 한다. L<sup>2</sup>HMoM는 MH의 이동에 대해 계층2 핸드오프와 트리 재구성이 동시에 수행되므로 계층2의 핸드오프 완료시간과 계층2 핸드오프 완료에서부터 nFA/LER에서 최초의 멀티캐스트 패킷을 수신하기까지의 시간을 더한 정

도의 시간 동안에 대한 패킷을 버퍼링 한다. 만약 nFA/LER에 해당 그룹 멤버가 이미 있거나, 멀티캐스트 트리 재구성이 계층2의 핸드오프 완료 이전에 끝난다면 계층2 핸드오프 시간 동안의 패킷손실만 저장하면 된다.

MMROP의 평균 패킷손실  $L_{MMROP}$ 은 MIP-RS의 패킷손실과 동일하게 계산된다. MMROP는 MH의 핸드오프가 발생하지 않더라도 FA에  $L_{MMROP}$  이상의 패킷을 캐시에 저장하고 있어야 한다. 따라서 MMROP를 적용한 경우 서비스망 내부에서의 평균 버퍼 사용량  $B_{MMROP}$ 는 식 (3)과 같이 된다.

$$L_{MMROP} = L_{MIP-RS} = \lambda \cdot (t_{handoff}) \quad (3)$$

$$B_{MMROP} = n \cdot (L_{MMROP})$$

$n$  : MH들이 분산되어있는 FA의 개수

MH의 핸드오프로 인한 L<sup>2</sup>HMoM의 패킷손실  $L_{L^2HMoM}$ 은 식 (4)와 같이, 전체 버퍼 사용량  $B_{L^2HMoM}$ 은 식 (5)와 같이 계산된다. L<sup>2</sup>HMoM의 경우 대리 IGMP 보고로 인해 MH가 IGMP 보고 메시지를 전송하기 위한 지연시간인  $t_{rpt-dly}$ 가 발생하지 않는다.

$$L_{L^2HMoM} = \lambda \cdot (t_{2h} + t_{diff}) \quad (4)$$

$$t_{diff} = \begin{cases} 0, & \text{if } t_{2d} \leq t_{2d} \\ t_{13d} - t_{2d}, & \text{if } t_{2d} > t_{2d} \end{cases} \quad (4-1)$$

$$t_{2d} = \begin{cases} 0, & \text{if there are group members } \in \text{nFA/LER} \\ (t_f + 2 t_{proc}) + (t_d + t_e + 3 t_{proc}) = t_f + t_d + t_e + 5 t_{proc}, & \text{if there is no group member in nFA/LER} \end{cases} \quad (4-2)$$

if there is no group member in nFA/LER

$$t_{2d} = t_{trigger} + t_{2h} \quad (4-3)$$

$$B_{L^2HMoM} = m \cdot (L_{L^2HMoM}) \quad (5)$$

$t_{12h}$  : 계층2 핸드오프 시간

$t_{diff}$  : 계층2 핸드오프 소요 시간과 계층3 멀티캐스트 핸드오프 소요 시간 차

$t_{2d}$  : 계층3 멀티캐스트 핸드오프에 소요되는 시간의 합

$t_{2d}$  : 계층2의 핸드오프에 소요되는 시간의 합

$t_{trigger}$  : L2-ST 트리거 발생에서부터 계층2 핸드오프 발생까지의 시간 간격

$t_d, t_e, t_f$  : 그림 7에서 각 링크에서의 평균 전송지연

$m$  : 동일시간에 핸드오프하는 MH의 수

그림 8은 전송지연과 처리지연을 모두 2ms로 정의한 경우의 그림 6의 시험 모바일 IP 서비스망 내부에서의 버퍼 사용량을 구한 것이다. 각 링크의 전송지연과 처리

지연은 실제 망에서는 주변 트래픽량과 라우터의 성능에 좌우되지만 본 실험은 핸드오프에 대한 멀티캐스트 패킷의 손실량을 비교하는데 목적이 있으므로 실험의 단순화를 위해 유선망에서의 가변적인 상황을 반영하지 않았다. 또한, L<sup>2</sup>HMOM의 경우 패킷 복구 시 MH에서 패킷의 버퍼링이 수행되나 이는 서비스망 내부에서 발생하는 버퍼링이 아님으로 전체 버퍼 사용량에서 제외하였다. 평균 전송률 λ는 500 바이트 크기의 패킷을 초당 132개(64Kbps)를 전송하도록 설정하였다.

그림 8에서 MMROP의 경우 MH의 수가 증가함에 따라 평균 버퍼 사용량도 선형적으로 증가함을 볼 수 있다. 만약 n개 그룹이 존재한다면 평균 버퍼 사용량은 그림 8의 약 n배 증가를 예상할 수 있다. MMROP는 MH의 이동 속도에 크게 영향을 받지 않는다는 것을 그림 8의 (a)와 (b)를 비교해 보면 알 수 있다. L<sup>2</sup>HMOM의 경우는 MMROP에 비하여 패킷을 버퍼링하는 양이 현저히 작는데 이는 MH가 핸드오프 하지 않는 경우는 버퍼링을 하지 않기 때문으로 볼 수 있다. 그림 8의 비교에서 볼 수 있듯이 L<sup>2</sup>HMOM은 시속 4Km로 MH가 이동할 때 보다 시속 60Km로 이동할 때의 버퍼 사용량이 조금 큰 것을 볼 수 있다. 이는 MH가 2Km의 격자 안에서 시속 4Km로 이동하는 경우 격자 안에 머무르는 평균 시간이 본 실험에서 약 46분인데 반해 시속 60Km로 이동할 경우에는 약 2분15초로 핸드오프의 발생 빈도가 높아 동시에 핸드오프를 수행하는 MH의 수가 많

기 때문이다. 표 1은 실험 결과에 대한 수치 데이터를 나타낸 것이다.

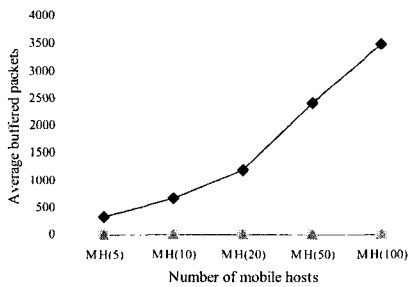
표 1에서 L<sup>2</sup>HMOM의 버퍼 요구량을 MMROP의 캐시 요구량과 비교해 보면  $t_{Ba} \leq t_{Ba}$ 의 경우 평균적으로 MMROP의 0.32% 수준으로 적으며, L2-ST 발생 후 계층2 핸드오프의 발생 시점까지의 간격을 5ms로 설정한  $t_{Ba} > t_{Ba}$ 의 경우 MMROP의 0.84% 수준으로 적어 전체적으로 MMROP의 0.58% 정도의 버퍼만을 요구함을 알 수 있다. 계층 2 핸드오프 시점에서 원격지 가입을 완료하는데 소요된 평균 지연시간은 MMROP의 경우 시속 4Km에서 평균 297.6ms, 시속 60Km에서 평균 321.4ms로 측정되었으며, L<sup>2</sup>HMOM은  $t_{Ba} > t_{Ba}$ 의 경우 시속 4Km에서 평균 12.6ms, 시속 60Km에서 평균 11ms로 측정되었다. 원격지 가입에 소요되는 평균 시간과 버퍼 요구량이 비례하지 않는 것은 버퍼 사용량이 멀티캐스트 그룹 멤버의 존재 유무와 모바일 노드의 분산 정도에 영향을 받기 때문으로 분석된다.

4.2 프로토콜 비용 분석

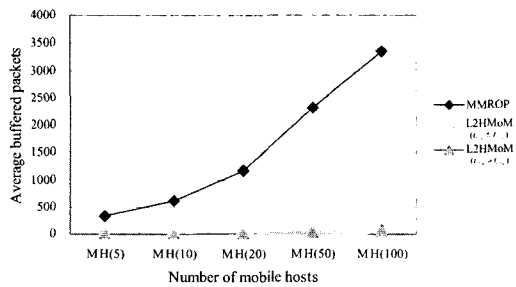
MH가 oFA/LER에서 nFA/LER로 이동한 경우의 프로토콜 비용 C<sub>MIP</sub>의 계산은 [17]에서 정의한 것을 식 (6)과 같이 멀티캐스트에 적용할 수 있다.

$$C_{MIP} = C_{control} + C_{oFA/LER} + C_{nFA/LER} \quad (6)$$

C<sub>control</sub>은 MH의 COA(Care-of-Address) 등록과 멀티캐스트 그룹 멤버 가입을 위해 전송되는 제어 패킷에



(a) 시속 4Km로 이동 시



(b) 시속 60Km로 이동 시

그림 8 서비스망에서의 평균 버퍼 사용량 비교

표 1 서비스망에서의 평균 버퍼 사용량 비교

단위: (패킷수)

MH 수	MMROP		L <sup>2</sup> HMOM ( t <sub>Ba</sub> ≤ t <sub>Ba</sub> )		L <sup>2</sup> HMOM ( t <sub>Ba</sub> > t <sub>Ba</sub> )	
	4Km/h	60Km/h	4Km/h	60Km/h	4Km/h	60Km/h
5	345.84	338.92	0.03	1.54	0.11	4.60
10	680.61	622.51	0.11	3.03	0.34	8.57
20	1184.16	1159.26	0.33	6.37	0.83	17.40
50	2413.96	2319.89	0.76	15.55	1.90	38.58
100	3486.07	3346.35	1.73	30.59	3.94	70.76

대한 평균 비용이고,  $C_{oFA/LER}$ 은 MH의 핸드오프 후에 oFA/LER로 잘못 전달되어지는 데이터 패킷의 처리비용이며,  $C_{nFA/LER}$ 은 MH가 nFA/LER을 통해 수신하는 패킷의 비용이다.  $C_{control}$ 은 식 (7)과 같이 구해질 수 있다.

$$C_{control} = C_{reg} + C_{mj} \tag{7}$$

MIP-RS, MMROP,  $L^2HMoM$ 은 원격지 그룹 멤버 가입을 수행함으로 MH의 COA 등록비용은 멀티캐스트에는 포함되지 않는다. 따라서 COA 등록비용  $C_{reg}$ 는 0이 된다. 제어 패킷 크기  $l_c$ 는 분석의 단순화를 위해 1로 설정한다. 따라서  $l = \frac{l_d}{l_c} = \frac{l_d}{1} = l_d$ 가 되고 데이터 패킷  $l_d$ 의 처리비용은 제어 패킷의  $l$  배가됨을 의미한다. 멀티캐스트 그룹 가입비용  $C_{mj}$ 는 그림 7에서 각 방안별로 다음과 같이 구해진다.

$$C_{mj-rs} = q_{noMM}(d + e + 3r) \tag{8}$$

$$C_{mj-mmrop} = q_{noMM}(d + e + 3r) + (d + f + 2r) \tag{9}$$

$$C_{mj-l^2hmoM} = q_{noMM}(d + e + 3r) + f + (d + f + 2r) \tag{10}$$

$q_{noMM}$ : MH가 핸드오프 한 FA에 그룹 멤버가 없을 확률

$d, e, f$ : 그림 7에서 각 링크를 제어패킷이 전송되는 비용

$r$ : 각 노드에서의 제어패킷 처리비용

$(d + f + 2r)$ 은 MMROP와  $L^2HMoM$ 이 오프셋 정보를 oFA/LER로 전송하는데 소요되는 비용이다. oFA/LER에서의 데이터 손실 비용  $C_{oFA/LER}$ 은 식 (11)과 같다.

$$C_{oFA/LER} = \lambda \cdot t_{hd-x} \cdot (C_{mpd} + C_{off}) \tag{11}$$

$$\begin{aligned} t_{hd-rs} &= (1 - q_{noMM})t_{2h} + q_{noMM}(t_{2h} + t_{rpt-dly} \\ &\quad + (t_d + t_e + 3t_r)) \\ &= t_{2h} + q_{noMM}(t_{rpt-dly} + t_d + t_e + 3t_r) \end{aligned} \tag{11-1}$$

$$t_{hd-mmrop} = t_{2h} + q_{noMM}(t_{rpt-dly} + t_d + t_e + 3t_r) \tag{11-2}$$

$$\begin{aligned} t_{hd-L^2HMoM} &= t_{2h} + t_{diff} \\ &= t_{2h} + q_{noMM}((t_f + t_d + t_e + 5t_r) \\ &\quad - (t_{trigger} + t_{2h})) \end{aligned} \tag{11-3}$$

$$C_{mbd} = l \cdot (c + d) + 2r \tag{11-4}$$

$$C_{off} = \begin{cases} 0 & \text{MIP-RS} \\ l \cdot (f) + 2r & \text{MMROP, } L^2HMoM \end{cases} \tag{11-5}$$

$t_{hd-x}$ : 각 방안별 지연 시간

$C_{mpd}$ : 멀티캐스트 소스에서 oFA/LER까지 하나의 패킷을 전송하는데 소요되는 비용

$C_{off}$ : 하나의 손실 패킷을 복구를 위해 nFA/LER로 전송하는데 소요되는 비용

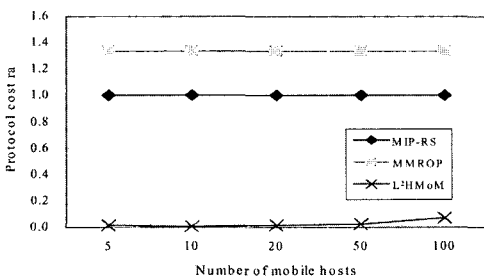
식 (6)에서 nFA/LER에서의 비용  $C_{nFA/LER}$ 은 MH가 해당 서브네트워크에 머무르는 동안의 데이터 패킷 전송비용을 의미하므로 식 (12)와 같이 계산할 수 있지만 세 방안 모두에게 동일하게 적용되므로 생략이 가능하다.

$$C_{nFA/LER} = p C_{mpd} \tag{12}$$

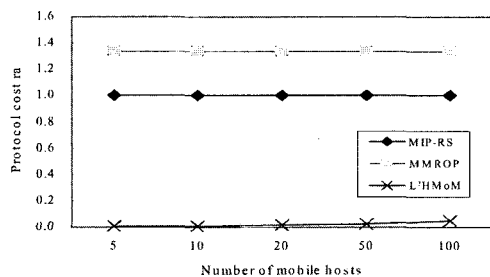
$p$ : MH가 한번의 이동으로 수신하는 평균 패킷의 수 (PMR: Packet to Mobility ratio),  $\frac{\lambda}{\mu}$ 로 계산된다.

$\mu$ : MH의 네트워크 평균 이동율

MIP-RS를 기준으로 하여 MMROP와  $L^2HMoM$ 의 비용을 비교해 보면 MMROP는 MIP-RS에서 패킷 재전송과 제어신호에 대한 비용으로 추가됨으로 인하여 평균 프로토콜 비용이 상승되었음을 알 수 있다. 하지만  $L^2HMoM$ 의 경우는 MIP-RS의 패킷손실보다 적은 양의 패킷손실 발생으로 인해 평균 프로토콜 비용이 낮아져 있음을 알 수 있다. 이는 제어 신호를 위한 비용의 상승에 비해 데이터 손실 보상을 위한 비용이 크게 상승하지 않음으로서 나타나는 현상임을 알 수 있다. 그림 9에서 시속 4Km에서의  $L^2HMoM$ 의 프로토콜 비용이 시속 60Km일 때 조금 높게 나오는 것은 핸드오프 시에 해당 그룹이 존재하지 않을 확률이 시속 60Km일 때가



(a) 시속 4Km로 이동 시



(b) 시속 60Km로 이동 시

그림 9 비용 비교

조금 낮기 때문인데 이는 잦은 핸드오프로 인해 MII가 동일 격자 안에 같이 존재하게 될 확률이 높아졌기 때문이다.

### 5. 결론

본 논문은 모바일 IP에서 멀티캐스트 서비스를 제공하기 위한 IETF의 두 가지 멀티캐스트 지원 방안 중 MIP-RS의 패킷손실과 아웃오브싱크 문제를 해결하기 위해 저 지연 핸드오프를 적용하였다. 저 지연 핸드오프에 의하여 계층2 핸드오프와 계층3의 멀티캐스트 그룹 재가입 절차를 동시에 수행시킴으로써 모바일 IP 서비스망 내부에서의 버퍼 사용량을 MMROP에 비하여 현저하게 줄였다.

본 논문에서 제안한 L<sup>2</sup>HMoM은 멀티캐스트 그룹 수와 망에서의 MH 분산정도에 따라 평균 버퍼 사용량이 영향을 받는 MMROP와는 달리 MH의 핸드오프에 의해서만 평균 버퍼 사용량이 영향을 받으므로 사람이 걸어가는 정도의 MH 이동상태에서는 유선망과 거의 동일한 수준의 멀티캐스트 서비스 품질을 보장함을 볼 수 있다. L<sup>2</sup>HMoM은 유니캐스트의 경로 최적화 방안을 위한 메시지를 확장하여 멀티캐스트 지원방안에 적용함으로써 모바일 IP를 위한 기존 프로토콜의 변경을 최소화하여 모바일 IP의 설계개념에 부합하도록 하였다. 또한, L<sup>2</sup>HMoM은 MPLS를 전달망으로 적용하기에 적합한 구조를 가짐으로써 QoS 보장형 실시간 멀티미디어 서비스의 지원을 고려하도록 설계하였다.

본 논문은 모바일 IP 서비스망에서 실시간 멀티미디어 서비스 제공을 위해 멀티캐스트의 특성을 유지하면서 대량의 패킷손실 문제를 해결한 무손실 멀티캐스트 지원방안을 위하여 MPLS를 사용하고 있지만 MPLS를 패킷 부구를 위한 전달 기능으로만 사용하였을 뿐 실질적인 멀티캐스트 패킷의 QoS 보장에 대해서는 언급하지 않았다. 그 이유는 MPLS는 종단간 전송에 적합하도록 설계되어있고 아직까지 멀티캐스트 트리를 MPLS에서 구성하기 위한 적합한 방안이 제시되지 않았기 때문이다. 따라서 모바일 IP 서비스망에서의 무손실 멀티캐스트 지원 방안을 기반으로 MPLS에서의 멀티캐스트 트리 매핑과 실시간 멀티미디어 서비스의 클래스별 QoS 보장방안에 대하여 차후 연구할 계획이다.

### 참 고 문 헌

[1] Tim G. Harrison, Carey L. Williamson, Wayne L. Mackrell, Richard B. Bunt, "Mobile Multicast (MoM) Protocol: Multicast Support for Mobile Hosts," ACM MobiCom '97, Sep. 1997.

[2] Chunhung Richard Lin, Kai-Min Wang, "Scalable Multicast Protocol in IP-Based Mobile Networks," Wireless Networks 2002, Aug. 2002.

[3] Jiunn-Ru Lai, Wanjiun Liao, "Mobile Multicast with Routing Optimization for Recipient Mobility," IEEE Transaction on Consumer Electronics Volume:47, Feb. 2001.

[4] Kee-Taek Kim, Jae-Hyun Kim, Dong-Keun Kim, Jai-Yong Lee, "Efficient Explicit Mobile Multicast Routing Protocol (E2MMP)," ICITA2002, Nov. 2002.

[5] C. Perkins, IP Mobility Support for IPv4, RFC 3344, Aug. 2002.

[6] Christophe Diot, Leonard Giuliano, "An Overview of Source-Specific Multicast (SSM)," Internet-Draft, Nov. 2002.

[7] Jiwoong Lee, "Explicit Multicast Tunneling," Internet-Draft, Feb. 2003.

[8] Karim El Malki, Pat R. Calhoun, Tom Hiller, James Kempf, Peter J. McCann, "Low Latency Handoffs in Mobile IPv4," Internet-Draft, Jun. 2002.

[9] Zong Ren, Chen-Khong Tham, Chun-Choong Foo, Chi-Chung Ko, "Integration of Mobile IP and Multi-Protocol Label Switching," ICC2001, pp. 2123-2127, 2001.

[10] Taiwon Um, Junkyun Choi, "A study on path re-routing algorithms at the MPLS-based hierarchical mobile IP network," TENCON2001. 2001.

[11] Tingzhou Yang, Yixin Dong, Bin Zhou, Dimitrios Makrakis, "Profile-Based Mobile MPLS Protocol," Proceeding of the 2002 IEEE Canadian Conference on Electrical & Computer Engineering, 2002.

[12] D. Waitzman, C. Partridge, S. Deering, Distance Vector Multicast Routing Protocol, RFC1075, Nov. 1988.

[13] Andrew Adams, Jonathan Nicholas, William Siadak, Protocol Independent Multicast-Dense Mode (PIM-DM): Protocol Specification, Internet Draft, Feb. 2003.

[14] D. Estrin, D. Farinacci, A. Helmy, D. Thaler, S. Deering, M. Handley, V. Jacobson, P. Sharma, L. Wei, Protocol Independent Multicast-Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification, RFC2362, Jun. 1998.

[15] A. Ballardie, Core Based Trees (CBT) Multicast Routing Architecture, RFC2201, Sep. 1997.

[16] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, V. Jacobson, RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, RFC1889, Jan. 1996.

[17] Ravi Jain, Thomas Raleigh, Charles Graff, Michael Bereschinsky, "Mobile Internet Access and QoS Guarantees Using Mobile IP and RSVP with Location Registers," IEEE INFOCOM98, 1998.

[18] W. Fenner, Internet Group Management Protocol, Version 2, RFC2236, Nov. 1997.

[19] S. Deering, ICMP Router Discovery Messages, RFC1256, Sep. 1991.



김 호 철

1989년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업  
1999년 2월 영남대학교 멀티미디어통신  
공학과 석사 졸업(공학석사). 2004년 2월  
영남대학교 멀티미디어통신공학과 박사  
졸업(공학박사). 1989년 1월~1995년 7월  
삼성전관(SDI) 기술본부 종합연구소 주  
임연구원. 1995년 8월~1996년 4월 삼성중공업 상용차사업  
부 기술지원 대리. 2001년 3월~현재 울산과학기술대학 컴퓨터  
정보학부 조교수. 관심분야는 Mobile IP, NGI, MPLS

김 영 탁

정보과학회논문지 : 정보통신  
제 31 권 제 2 호 참조